



PRAKTIJKONDERZOEK
VEEHOUDERIJ



IMAG

Mestverwerking varkenshouderij

systeem Biovink, Evink te Oosterwolde (Gld)

W. Melse (Praktijkonderzoek Veehouderij/IMAG)
A.J. Starmans (IMAG)
Verdoes (Praktijkonderzoek Veehouderij)

VARKENS



APRIL 2002

WAGENINGEN 

Colofon

PraktijkBoek nr. 6

Uitgever/bestellen:

Praktijkonderzoek Veehouderij
Postbus 2176
8203 AD Lelystad
Tel: 0320 - 293211
Fax: 0320- 241584
E-mail: info@pv.agro.nl
Internet: <http://www.pv.wageningen-ur.nl>

Redactie:

Afdeling Kennisexploitatie en Marketing

Fotografie:

Afdeling Voorlichting PV

Drukker:

Drukkerij Cabri bv
Lelystad

Eerste druk 2002/oplage 75

De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor gevolgen bij gebruik van in deze brochure vermelde gegevens.

Inhoud

Voorwoord	1
Samenvatting	2
1 Inleiding	3
2 Beschrijving Biovink systeem ..	6
3 Onderzoek: materiaal en methoden	10
3.1 Monstername en analyse ..	10
3.2 Debietmeting	10
3.3 Gasvormige emissies	11
3.4 Energieverbruik	13
3.5 Economische evaluatie	13
4 Onderzoek: resultaten en discussies	14
4.1 Capaciteit systeem	14
4.2 Samenstelling stromen	14
4.3 Massabalans	17
4.4 Gasvormige emissies	19
4.5 Energieverbruik	24
5 Economische evaluatie	25
6 Conclusies en aanbevelingen	28
7 Biovink in breder perspectief	29
Literatuur	31
Bijlagen	33
Overige publicaties over mestverwerking	36

Voorwoord

In opdracht van het Productschap voor Vee, Vlees en Eieren is door het Praktijkonderzoek Veehouderij een onderzoeksprogramma uitgevoerd met de titel

‘Toepassingsmogelijkheden mestverwerking op varkenshouderijbedrijven’. Het doel hiervan is het bevorderen van kansrijke technologieën voor de verwerking van varkensmest. Eind 1999/begin 2000 is een inventarisatie gemaakt van alle initiatieven in Nederland op het gebied van varkensmestverwerking. De initiatieven werden globaal getoetst op technische betrouwbaarheid, economische haalbaarheid, verwachte afzetmarkt voor producten, innovativiteit, mate van mineralenhergebruik, ontwikkelingsstadium en verwachte emissies naar lucht, water en bodem. Er werden tien mestverwerkingssystemen geselecteerd voor het onderzoeksprogramma. De resultaten van het onderzoek bestaan voor elk systeem uit een objectief overzicht van de werking van de technologie, samenstelling van de producten, optredende emissies, investeringskosten en operationele kosten.

Het onderzoeksprogramma is begeleid door een programmateam met de volgende samenstelling:

Ir. J. Doornbos (tot juli 2000) (BMA)
W. van Gemert (NVV)

Ir. P.J.W. ten Have (BMA)
M. Jonkheid (PV, secretaresse)
Dr.ir. C.E. van 't Klooster (tot december 2000) (IMAG)
Ir. R.W. Melse (tot 1-1-2002 PV, daarna IMAG)
G. Oosterlaken (LTO)
Dr.ir. S.J. Oosting (december 2000 – juli 2001) (IMAG)
E. Ordeman (NAJK)
Dr.ir. D.A.J. Starmans (na juli 2001) (IMAG)
Ir. N. Verdoes (PV, voorzitter)
Ir. M.C. Vonk (PVV)

Een van de onderzochte systemen is het Biovink systeem op het varkenshouderijbedrijf Evink te Oosterwolde (Gld). Voor u liggen de resultaten van dat onderzoek. We danken de familie Evink voor de medewerking aan het onderzoek.

Tot slot spreek ik de hoop uit dat varkenshouders door dit onderzoek meer helderheid krijgen over de toepassingsmogelijkheden van verschillende mestverwerkingstechnieken, waardoor de onzekerheid over de (meestal grote) investeringen verkleind wordt.

Ir. N. Verdoes
Projectmanager Milieu
Praktijkonderzoek Veehouderij

Samenvatting

In het Biovink systeem wordt varkens-drijfmest behandeld in een biologische zuiveringsproces (nitrificatie / denitrificatie) gevolgd door bezinking. Het systeem heeft een capaciteit van 3.000 ton drijfmest per jaar en een continue procesvoering. De bedoeling is om de in de mest aanwezige stikstof om te zetten in onschadelijke luchtstikstof (N_2) en twee producten:

- Waterfractie (circa 80%): laag gehalte droge stof, stikstof en fosfaat
- Slibfractie (circa 20%): hoog gehalte droge stof en fosfaat

In de zomerperiode realiseert het systeem een stikstofverwijdering van minimaal 84%; in de winterperiode is het rendement veel lager. Aangezien het systeem een vrijstelling van de MINAS-heffing op stikstof heeft (*Vrijstellingsregeling mest be- en verwerking Meststoffenwet*) heeft voor de verwijderde stikstof geen afzetcontract te worden afgesloten. Het water dat resteert na bezinking heeft een stikstof-totaalgehalte van 200-500 mg/l en een CZV-gehalte van ongeveer 3000 mg/l en wordt geloosd op de riolering. Hiervoor betaalt men een lozingsheffing. Wanneer het water op gras- of bouwland angewend wordt, zijn emissiebeperkende maatregelen bij opslag en aanwending noodzakelijk als het gehalte stikstoftotaal hoger is dan 200 mg/l.

In de winter is het stikstof-totaalgehalte in het effluent erg hoog als gevolg van de te lage temperatuur in het systeem. Aangezien de temperatuur in het systeem voor een goede stikstofverwijdering niet lager mag dan 15°C, is het noodzakelijk het systeem thermisch te isoleren. Het is waarschijnlijk dat men door optimalisatie van de installatie en de procesregeling de werking van het systeem kan verbeteren, zodat men gedurende het gehele jaar een lager stikstofgehalte in het effluent kan realiseren. Hierdoor dalen de lozingskosten van het effluent. De Rijksdienst voor de keuring van Vee en Vlees erkent de dikke fractie als een bewerkte mestfractie die geëxporteerd mag worden. Bij export behoeft voor deze mineralen geen afzetcontract te worden afgesloten. De emissie van geur en ammoniak uit het mestverwerkingsysteem is zeer laag in vergelijking met de emissie uit stallen en mestopslag. Het mestverwerkingsysteem zorgt dus nauwelijks voor een toename van de emissie van het bedrijf.

De kosten van het systeem bedragen € 10,- / ton drijfmest, excl. afzet van de producten. Afhankelijk van de ontwikkeling van de afzetmarkt voor de producten en van de optimalisering van het Biovink systeem moet men rekening houden met een extra kostenpost van € 0,40 tot € 7,- per ton behandelde drijfmest.

1 Inleiding

In 1998 is het Mineralen Aangifte Systeem (MINAS) (Anoniem, 1998) van kracht geworden. Dit heeft als doel de mineralenaanvoer en -afvoer per bedrijf met elkaar in evenwicht te brengen. Wanneer het verschil tussen aan- en afvoer groter is dan een vastgestelde verliesnorm moet een heffing worden betaald.

Daarnaast is er Europese wetgeving in ontwikkeling (Nitraat-richtlijn) die vastlegt welke hoeveelheid stikstof uit dierlijke mest men maximaal mag aanwenden per hectare bouw- of grasland.

Als gevolg van de geschetste wet- en regelgeving zijn de mogelijkheden voor mestafzet verminderd en de kosten toegenomen. Tevens wordt steeds vaker de wens geuit om een duurzame landbouw te ontwikkelen waarin hergebruik van mineralen een belangrijke plaats inneemt.

Mestbewerking of -verwerking is een manier om hergebruik van mineralen te stimuleren en vormt zo een mogelijke oplossing voor het mineralenoverschot. Het doel van mestverwerking is om producten te maken die een kleiner volume innemen en een hogere waarde vertegenwoordigen dan de mest zelf. Dit proces moet tegen acceptabele kosten uitgevoerd worden.

Onderzoekskader

In opdracht van het Productschap

voor Vee, Vlees en Eieren (PVV) werd in 2000 door het Praktijkonderzoek Veehouderij (PV) een onderzoeksprogramma gestart met als titel

‘Toepassingsmogelijkheden mestverwerking op varkenshouderijbedrijven’.

Er werd een inventarisatie gemaakt van alle initiatieven in Nederland op het gebied van varkensmestverwerking. Op deze manier werd informatie verzameld van circa 80 projecten op dit gebied. De verschillende technieken en ideeën voor mestverwerking in deze projecten werden vervolgens getoetst aan de hand van een aantal criteria.

De belangrijkste toetsingscriteria waren technische betrouwbaarheid, economische haalbaarheid, verwachte afzetmarkt voor producten, innovativiteit en de marktintroductie dient binnen 2 jaar te geschieden.

Ook dienen de systemen vervuiling van bodem en water, emissie van geur, ammoniak en broeikasgassen te voorkomen. De systemen dienen hergebruik van mineralen te stimuleren, waardoor het mineralenoverschot kan worden teruggebracht.

Op grond van deze toetsing werden tien mestverwerkingsystemen geselecteerd (tabel 1).

Een aantal systemen is ontwikkeld door individuele varkenshouders en een aantal is ontwikkeld door de toeleverende industrie. De systemen bevinden zich op locatie bij een var-

Tabel 1 Overzicht geselecteerde verwerkingssystemen voor varkensmest

Naam	Techniek	Producten	Capaciteit (m ³ /jaar)	Opmerking
<i>Mechanisch / Chemisch:</i>				
1 De Swart	Strobedfilter, verdamping met zonlicht, lucht-zuivering	Vloeibare fractie, N-rijk condens, vaste fractie	1.600*	Eenvoudige technieken
2 Dirven	Vijzelpers, centrifuge, microfiltratie	Vloeibare fractie, concentraat, vaste fractie	3.600*	
3 Agramaat	Flotatie, kamerfilterpers, microfiltratie, omgekeerde osmose	Vaste fractie, concentraat, filtraat (water)	8.000**	Mobiel
4 Mest-op-maat	Toevoegen mineralen, menging van verschillende mestsoorten	Vloeibare meststof met constante kwaliteit	25.000**	Regionaal
5 Mestec	Zeef, flotatie, ultrafiltratie, omgekeerde osmose	Schoon water, concentraat, vaste fractie	50.000**	Mobiel
<i>Biologisch:</i>				
6 Biovink	Beluchting, toevoeging kalk en melasse	Slib, vloeibare fractie	3.000*	Omzetting naar N ₂
7 OrgAgro	Toevoeging bacteriën, mengen, zeefbocht	Vloeibare meststof voor kaskweek, vaste fractie	2.500**	Eenvoudig, goede afzet mogelijkheden
<i>Thermisch:</i>				
8 Bouwman	Compostering in droogtrommel, luchtreiniging	Compost, condens	10.000**	Gesteriliseerde producten
9 Manura® 2000 + 10	Centrifuge, verwarmen, strippen, condenseren	Schoon water, N-concentraat, NPK-concentraat, vaste fractie	16.000*	Gesteriliseerde producten

* Informatie gebaseerd op onderzoek uitgevoerd onder begeleiding van Praktijkonderzoek Veehouderij

** Informatie aangeleverd door leverancier

kensbedrijf of bij een loonwerker met mestopslag.

Dit rapport is een verslag van het

onderzoek naar een van de tien onderzochte systemen.

Onderzoeksdoel

Het doel van het onderzoek is het testen en analyseren van de werking van de als kansrijk geachte mestverwerkingsystemen. Van ieder systeem moet een nutriëntenbalans worden gemaakt, informatie worden verzameld over de stabiliteit van de procesvoering, optreden van storingen, capaciteit, kosten en energiegebruik en van elk systeem moet de milieubelasting worden bepaald door het meten van optredende emissies van broeikasgassen, ammoniak en geur.

Onderzoeksopzet

Het onderzoek naar de verschillende systemen bestond uit de volgende elementen:

1. Vastlegging van technische prestaties van het mestverwerkingsysteem gedurende 4 weken. Geregistreerd werden: hoeveelheid en samenstelling mest, hoeveelheden en samenstelling eindproducten, energieverbruik, storingen, stabiliteit proces etc. Deze metingen zijn grotendeels uitgevoerd door de varkenshouder of door de leverancier van het mestverwerkingsysteem. De metingen zijn uitgevoerd volgens een vooraf door het Praktijkonderzoek Veehouderij (PV) opgesteld monsternamen- en meetprotocol. Het personeel van het PV heeft regelmatig de diverse systemen bezocht, contact onderhouden en betrokkenen begeleid om betrouwbare meetresultaten te verkrijgen.

De resultaten van de uitgevoerde metingen en analyses aan het Biovink systeem zijn door de heer Evink aan het PV gerapporteerd (Evink, 2001).

2. Meting van gasvormige emissies. De emissie van ammoniak, broeikasgassen en geur werd driemaal gemeten terwijl het systeem in bedrijf was. Het IMAG bv te Wageningen heeft de metingen uitgevoerd en besproken in onderliggend rapport. De metingen zijn reeds eerder gerapporteerd als IMAG rapport (Gijssels et al., 2001).

Relevantie van onderzoek

Met behulp van de informatie uit het onderzoek kan een varkenshouder een systeem uitkiezen dat het beste past in zijn of haar situatie. Er is namelijk objectieve informatie beschikbaar over investeringen, operationele kosten, werking van het systeem, samenstelling van de producten etc. Ook de gevolgen voor de MINAS-boekhouding kunnen van tevoren worden vastgesteld. Omdat alle emissies van geur, ammoniak en broeikasgassen zijn gemeten, kunnen de resultaten ook een rol vervullen bij de aanvraag van de benodigde vergunningen voor een mestverwerkingsinstallatie, omdat men tevoren kan inschatten wat de milieubelasting van een dergelijke installatie zal zijn.

2 Beschrijving Biovink systeem

Het mestverwerkingsysteem dat in dit rapport wordt beschreven, bevindt zich op het bedrijf van de heer E. Evink, varkenshouder te Oosterwolde (Gld).

Het bedrijf bestaat uit 390 zeugen, 1020 biggen en 10 dekberen.

Op het varkensbedrijf wordt jaarlijks ongeveer 3000 ton drijfmest geproduceerd die behandeld wordt in het biologische mestzuiveringssysteem Biovink.

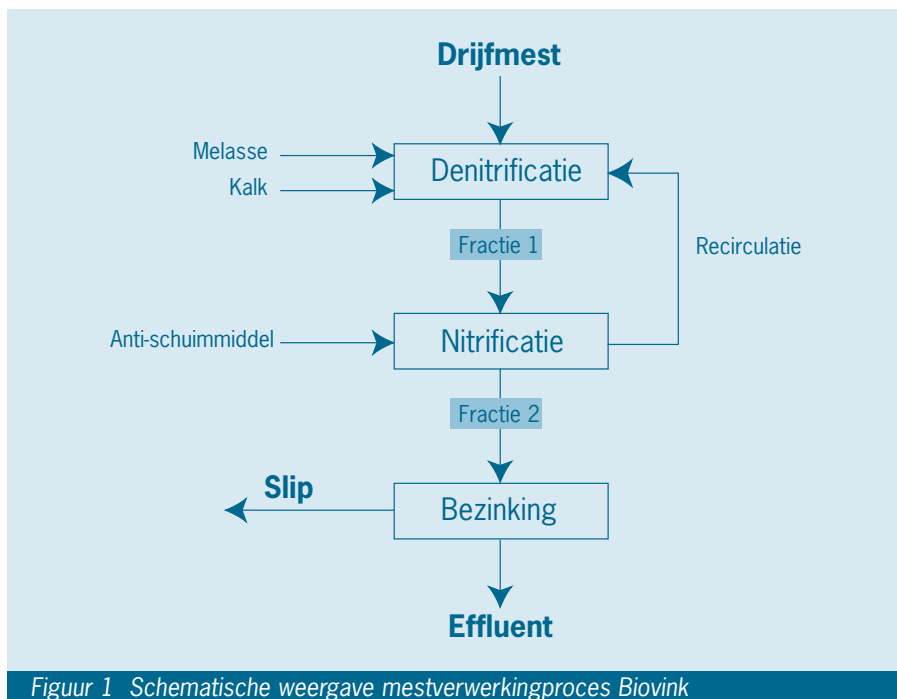
In het biologische mestzuiveringsproces wordt met behulp van bacteriën organische stof afgebroken en stik-

stof (deels) omgezet tot onschadelijk stikstofgas (N_2). De mestverwerkingsinstallatie bestaat uit twee tanks, opgesteld in de buitenlucht (figuur 2) en twee bassins (figuur 3). Toevoer van mest en afvoer van effluent vindt continu plaats.

In figuur 1 is het biologisch mestverwerkingsysteem Biovink schematisch weergegeven.

Denitrificatie

Drijfmest gaat vanuit de mestopslag onder de stal naar een denitrificatietank. Daar wordt de mest gemengd met nitraatrijke mestvloeistof die

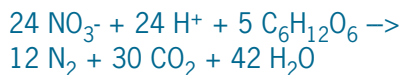


Figuur 1 Schematische weergave mestverwerkingproces Biovink

afkomstig is uit een tweede tank, de nitrificatietank. Beide tanks zijn gemaakt van polyester en op de buitenzijde beplakt met 1 cm dikke spouwisolatie (aan buitenzijde aluminiumfolie). De tanks hebben een diameter van 3 m en een hoogte van 9 m; het vloeistofniveau in de tanks is dusdanig dat het vloeistofvolume 60 m³ bedraagt.

In de denitrificatietank zorgen denitrificerende bacteriën dat nitraat (NO₃⁻) wordt omgezet naar stikstofgas (N₂). De energie voor dit proces wordt geleverd door het oxideren van een koolstofbron (voor een deel in de mest aanwezig en voor een deel toegevoegd als melasse). De omzetting

is als volgt (uitgaand van C₆H₁₂O₆ als koolstofbron):



Er wordt kalkmelk (calciumhydroxide oplossing) toegevoegd aan de denitrificatietank om fosfaat te binden als calciumfosfaat zodat het fosfaat na bezinking in de dikke fractie (slib) terecht komt.

In de denitrificatietank is een mixer geplaatst die continu in bedrijf is.

Nitrificatie

In de nitrificatietank of beluchtingstank vindt biologische oxidatie



Figuur 2 Nitrificatie- en denitrificatietank van biologische mestbehandelingsinstallatie Biovink (Evink, Oosterwolde (Gld))

van ammonium-stikstof (NH_4^+) plaats. Ammonium is voor een deel aanwezig in de mest en komt voor een deel vrij tijdens de biologische oxidatie van organisch materiaal (organische gebonden stikstof wordt omgezet naar ammonium-stikstof). Het ammonium wordt omgezet naar nitriet (NO_2^-) en vervolgens naar nitraat (NO_3^-) door nitrificerende bacteriën. Dit proces vindt plaats met behulp van zuurstof (O_2). Daarom wordt in de nitrificatietank actief lucht ingebracht (continu) met een pomp en een aantal membraanbuisbeluchters die op de bodem van de tank zijn gemonteerd. Volgens de specifi-

catie van de pomp en de beluchters wordt 100 m^3 lucht/uur (bij 50 Hz) tot 120 m^3 lucht/uur (bij 60 Hz) ingebracht bij de heersende waterdruk. De omzetting van ammonium naar nitraat kunnen we als volgt weergeven:



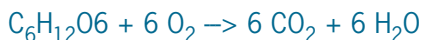
Na deze omzetting wordt de mestvloeistof voor een groot deel gerecicleerd en naar de denitrificatietank teruggevoerd.

In de nitrificatietank vindt eveneens afbraak van organische materiaal plaats met behulp van zuurstof. Deze



Figuur 3 Bezinkingsbassins van biologische mestbehandelingsinstallatie Biovink (Evink, Oosterwolde (Gld))

omzetting kan als volgt worden weergegeven (uitgaand van $C_6H_{12}O_6$ als organisch substraat):



Bezinking

Een deel van de mestvloeistof uit de nitrificatietank wordt gerecirculeerd en teruggevoerd naar de denitrificatietank. Een ander deel wordt naar twee bezinkingsbassins gevoerd. Deze bezinkingsbassins (figuur 3) hebben een totaal volume van $600 m^3$ en een oppervlak van $360 m^2$ en zijn niet overdekt. Het slib dat resteert na bezinking heeft een hoog gehalte aan fosfaat als gevolg van toediening van kalkmelk in het begin van het proces. Het effluent dat na bezinking resteert wordt op het riool geloosd. Indien nodig kan een deel van het effluent worden gerecirculeerd en gemengd worden met de ingaande drijfmest om de slibdichtheid van de installatie te verlagen.

Metingen en regelingen

In de nitrificatietank worden de parameters zuurgraad of pH, zuurstofgehalte en slibdichtheid (troebelheid) continu gemeten. In de denitrificatietank worden de

parameters redox-potentiaal en temperatuur continu gemeten.

De pH wordt geregeld door toediening van kalkmelk.

De meting van het zuurstofgehalte gebruikt men om de belasting van het systeem (= de hoeveelheid ingaande mest) te verhogen of te verlagen.

De meting van de slibdikte (troebelheidsmeter) wordt gebruikt om het recirculatiedebiet van het bezonken effluent in te stellen. Wanneer de slibdichtheid te hoog is, wordt een gedeelte van het bezonken effluent teruggevoerd naar het systeem om de concentratie te verlagen.

Op grond van de redox-potentiaal bepaalt men welke hoeveelheid melasse men aan het systeem moet toevoegen.

De temperatuur wordt gemeten ter controle van de procesvoering. Wanneer de temperatuur te laag wordt (winter) neemt de zuiverende capaciteit van het biologische systeem af.

In de nitrificatietank bevindt zich een sensor om schuimvorming te registreren. Indien schuimvorming optreedt, wordt anti-schuimmiddel over het vloeistofoppervlak gespreid om schuimvorming tegen te gaan.

3 Onderzoek: materiaal en methoden

De werking van het systeem is onderzocht gedurende 4 weken in de periode december 2000 tot januari 2001; in september 2001 is een aantal metingen herhaald.

Gedurende deze periode zijn metingen uitgevoerd, monsters genomen en alle voorkomende werkzaamheden en relevante ervaringen geregistreerd.

3.1 Monstername en analyse

In de periode december 2000 - januari 2001 werd eenmaal per week gedurende 4 weken een monster (1 liter) genomen van elk van de vloeistofstromen in het systeem.

In september 2001 is eenmaal een monster (1 liter) genomen van de ingaande drijfmest en eenmaal van elk van de vloeistofstromen in het systeem.

De monsters werden in het laboratorium geanalyseerd volgens standaard methoden (NNI, 1988).

De volgende analyses werden uitgevoerd:

- droge stof (DS)
- as rest (As) (gehalte organische stof is DS minus As)
- totaal-fosfaat (P)
- stikstof (N-Kjeldahl)
- ammonium ($\text{N-NH}_3/\text{NH}_4^+$)
- kalium (K)
- pH

Incidenteel werden ook onderstaande gehalten bepaald:

- chloride (Cl)
- natrium (Na)
- nitriet (N-NO_2^-)
- nitraat (N-NO_3^-)
- koper (Cu)
- zink (Zn)
- cadmium (Cd)
- vluchtige vetzuren (VFA)
- elektrische geleidbaarheid (EC)
- chemisch zuurstofverbruik (CZV)
- biologisch zuurstofverbruik (BZV)

3.2 Debietmeting

Hieronder wordt beschreven op welke wijze de verschillende debieten in het systeem zijn bepaald.

Ingaande mest

De drijfmest wordt vanuit de mestopslag naar de denitrificatietank gepompt met een slangenpomp.

Deze pomp is uitgerust met een pulsenteller zodat men het debiet kan berekenen als product van het aantal pulsen en het verplaatste volume per puls. Het verplaatste volume per puls wordt apart bepaald.

Retourstroom denitrificatie → nitrificatie

Het effluent van de nitrificatietank werd grotendeels teruggepompt naar de denitrificatietank met een verdrin-

gerpomp. Deze pomp is uitgerust met een elektromagnetische flow-meter.

Toevoeging melasse, kalk en anti-schuimmiddel

Melasse en kalk worden toegediend aan het systeem met een slangenpomp. Deze pomp is eveneens uitgerust met een pulsenteller. Het anti-schuimmiddel wordt toegediend met een membraanpompje dat op perslucht werkt.

Slib

De hoeveelheid slib die resteert na bezinking van het effluent in de nitrificatietank is niet gemeten. Deze hoeveelheid wordt ingeschat op grond van de snelheid waarmee de bezinkingsbassins gevuld zijn in het verleden.

3.3 Gasvormige emissies

Op 13 december 2000, 10 januari 2001 en 10 september 2001 is de gasvormige emissie van de nitrificatie- en de denitrificatietank vastgesteld. Een dag voorafgaande aan de metingen werd de meetapparatuur geplaatst en monsternameleidingen aangelegd in en bij de nitrificatie- en de denitrificatietank.

De volgende parameters werden gemeten:

- temperatuur en relatieve luchtvochtigheid;
- ventilatiedebiet (= de luchtuitwisseling tussen de tanks en de omgeving);

- ammoniakconcentratie (NH_3);
- broeikasgasconcentraties: kooldioxide (CO_2), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O);
- geurconcentraties.

Klimaat

De temperatuur ($^{\circ}\text{C}$) en de relatieve luchtvochtigheid (%) in beide tanks werden continu gemeten met een temperatuur- en vochtsensor (Rotronic Hygromer). De metingen zijn geregistreerd met een datalogger.

Ventilatiedebiet

De grootte van het ventilatiedebiet van de nitrificatietank, dus de luchtuitwisseling tussen de tank en de omgeving, werd bepaald met een geijkte meetventilator die in de ontluchtingspijp was geplaatst bovenop de tank. Behalve deze ontluchtingspijp bleken ook enkele kleine openingen in de nitrificatietank te zitten waardoor lucht ontweek; de ventilatie door deze openingen is niet gemeten. Het werkelijke ventilatiedebiet van de nitrificatietank wordt dus onderschat door de meting. De grootte van het ventilatiedebiet van de denitrificatietank is niet gemeten.

Ammoniak

De ammoniakconcentratie in de lucht in de tanks is bepaald door gedurende twee uur lucht uit de tanks door twee in serie geschakelde gaswasflessen met salpeterzuur (0,02 M HNO_3) te pompen. In de eerste gaswasfles werd het ammoniak afgevan-

gen; de tweede fles diende ter controle van eventuele verzadiging en slechte opname door de eerste fles. Het debiet van de luchtstroom door de gaswasflessen werd geregeld met een kritisch capillair (2000 ml/min); de werkelijke hoeveelheid doorgeleide lucht is bepaald met een zeepvliesmeter. Vervolgens is de concentratie van ammoniak in de gaswasflessen in het laboratorium nat-chemisch bepaald (NEN 6472, MSP-A014). Het leidingwerk voor monsternamen is van Teflon om adsorptie aan de leidingen en verlies door diffusie te voorkomen.

Een dag voor de metingen werd de ammoniakconcentratie in de lucht in de tanks oriënterend bepaald met gasdetectiebuisjes (Kitagawa); de gemeten concentratie werd gebruikt om te bepalen welke salpeterzuurconcentraties in de gaswasflessen toegepast moeten worden.

De achtergrondconcentratie van ammoniak, gebruikt om de metingen te corrigeren, werd eveneens gemeten met gasdetectiebuisjes.

Uit het debiet van de lucht door de gaswasflessen, de monsternameduur, de achtergrondconcentratie en de ammoniakconcentratie in de gaswasflessen kan vervolgens de ammoniakconcentratie in de bemonsterde lucht worden berekend (tijdgewogen gemiddelde) (Wintjens 1993). Uit het ventilatiedebiet (m^3/uur) en de ammoniakconcentratie (mg/m^3) kan men de ammoniakemissie in massa per tijdseenheid berekenen (g/uur).

Geurmetingen

De geurmetingen werden uitgevoerd volgens het meetprotocol voor geurremissies uit de veehouderij (Anoniem, 1996). Monsterzakken van Teflon werden in 2 uur gevuld met lucht uit de tanks door middel van de 'long-methode'. Hierbij werd een lege monsterzak, die zich in een gesloten vat bevond, via een Teflonslang gevuld met de te bemonsteren lucht. Door de lucht uit het vat te zuigen ($0,5 \text{ l}/\text{min}$), ontstond in het vat een onderdruk en werd lucht door de monsterleiding aangezogen. De lucht werd vóór het monstervat gefilterd met een stoffilter (poriediameter $1\text{--}2 \text{ }\mu\text{m}$).

De monsters zijn binnen 24 uur geanalyseerd met een olfactometer en een geurpanel. Een olfactometer verdunt een monster met schone lucht en biedt het mengsel aan aan een panel met een aantal mensen. Het monster wordt steeds verder verdund totdat de helft van de mensen in het panel nog juist een onderscheid kan maken tussen het verdunde monster en schone lucht. De geurconcentratie in dat verdunde monster is gedefinieerd als 1 European Odour Unit per kubieke meter ($1 \text{ OUE}/\text{m}^3$) (Hobbs *et al.*, 1995; NNI, 1995/1996). De geurconcentratie van het oorspronkelijke monster is gelijk aan het aantal verdunningen dat uitgevoerd is. Het IMAG bv heeft de geuranalyses uitgevoerd volgens de Nederlands voornorm NVN2820 met wijzigingsblad A1 (NNI, 1995/1996).

De achtergrondconcentratie van geur is niet bepaald.

Broeikasgassen

Gedurende 2 tot 4 uur werden luchtmonsters genomen met behulp van vacuümflessen van 6 liter. Na het openen van een klep vullen deze flessen zich in een aantal uren met omgevingslucht, zodat een gemiddeld luchtmonster wordt verkregen (tijdgewogen gemiddelde). Aan de loefzijde van de mestverwerkinginstallatie hebben we met injectiespuiten (20 ml) gasmonsters van de buitenlucht genomen ter bepaling van de achtergrondconcentratie van de verschillende gassen om de metingen hiervoor te corrigeren. In de gasmonsters werd de concentratie van CH₄, CO₂ en N₂O bepaald met een gaschromatograaf (Carbo Erba Instruments, GC 6000 Vega

series 2; Poropax Q; CH₄: FID/HWD; N₂O: ECD/HWD; HWD).

Uit het ventilatiedebiet (m³/uur) en de concentratie van een broeikasgas (g/m³) kan de broeikasgasemissie in massa per tijdseenheid worden berekend (kg/uur).

3.4 Energiegebruik

De hoeveelheid elektriciteit die verbruikt is door het systeem, werd geregistreerd met een kWh-meter.

3.5 Economische evaluatie

Om een objectieve vergelijking van kosten van verschillende mestverwerkingsystemen mogelijk te maken, hanteert het PV een aantal uitgangspunten voor het maken van een kostenberekening. Dit zijn:

- | | |
|---|--------------------------------|
| • Afschrijvingsduur machines: | 7,5 jaar (13%); restwaarde = 0 |
| • Afschrijvingsduur mestverwerkinggebouwen: | 10 jaar (10%); restwaarde = 0 |
| • Onderhoud: | 3% van totale investering |
| • Rentevoet: | 2,75% effectief |
| • Elektriciteitskosten, uitgaande van grootverbruik: | € 0,062 / kWh |
| • Arbeidskosten: | € 18,- / uur |
| • Draaiuren: | maximaal 8.000 / jaar |
| • Emissiearm aanwenden dunne fractie (door loonwerker): | € 3,50 / ton |
| • Verregenen water (incl. vaste kosten): | € 0,50 / ton |

4 Onderzoek: resultaten en discussie

4.1 Capaciteit systeem

De hoeveelheid mest die tijdens het onderzoek werd verwerkt bedroeg 3.500 ton drijfmest per jaar (continu bedrijf). Wanneer we uitgaan van 8.000 draaiuren per jaar, wordt door het systeem 3.000 ton drijfmest per jaar verwerkt. Het is niet duidelijk of de installatie draait op zijn maximale capaciteit: mogelijk kan de belasting van de installatie verhoogd worden zonder hierdoor de werking van het systeem negatief te beïnvloeden. In de berekeningen wordt echter een verwerkingscapaciteit van 3.000 ton drijfmest per jaar gehanteerd.

De inhoud van het denitrificatie/nitrificatie systeem bedraagt $2 \times 60 \text{ m}^3 = 120 \text{ m}^3$ en dus bedraagt de hydraulische verblijftijd circa 2 weken. De bezinkingsbassins hebben een gezamenlijke grootte van 600 m^3 , dus een hydraulische verblijftijd van ruim 2 maanden.

Het effluent van de nitrificatietank wordt met een debiet van ongeveer 2,6 ton/uur teruggeleid naar de denitrificatietank (continue recirculatie).

4.2 Samenstelling stromen

Tabel 2 toont een overzicht van de gemiddelde concentratie van de belangrijkste componenten in de verschillende stromen. In bijlage 1 staan de gemiddelde concentraties van

nitraat, nitriet, zware metalen, vluchtige vetzuren en elektrische geleidbaarheid en ook de samenstelling van melasse.

De waarden in tabel 2 en bijlage 1 zijn het gemiddelde van vier monsters die telkens met een interval van een week zijn genomen. De metingen zijn uitgevoerd in december 2000 en januari 2001. Tijdens deze periode zijn eveneens twee metingen uitgevoerd van de gasvormige emissie uit het systeem.

Uit tabel 2 blijkt dat de CZV-verwijdering in het biologisch systeem ongeveer 64% bedraagt. Tijdens de bezinking wordt nog eens een hoeveelheid CZV afgescheiden zodat de totale verwijdering 93% bedraagt.

Het biologisch verwijderingsproces van stikstof verloopt slecht; slechts 40% van de stikstof is verwijderd na het doorlopen van de denitrificatie- en de nitrificatietank. Het stikstof-totaalgehalte van het effluent van de nitrificatiereactor bedraagt 2,6 kg/ton ofwel 2600 mg/l. Dat is meer dan tienmaal zo hoog als de gewenste concentratie van 200 mg/l. Indien $\text{N-totaal} < 200 \text{ mg/l}$ kan de vloeistof gesproeid worden op gras- of bouwland zonder dat men emissiebeperkende maatregelen moet toepassen (Anoniem, 1997b). De stikstof in het effluent bestaat hoofdzakelijk uit ammonium, wat betekent dat er

Tabel 2: Gemiddelde concentraties in de verschillende stromen van beluchtings-systeem Biovink (metingen december 2000 - januari 2001) (DR = denitrificatietank; NR = nitrificatietank)

	Eenheid	Drijfmest	Fractie 1 (effluent DR)	Fractie 2 (effluent NR)	Water (na bezinking)	Slib
Massa	% totaal	100	100	100	80 *	20 *
Droge stof	kg/ton	53	25	25	9,1	245
Organische stof	kg/ton	36	15	14	3,2	126
Stikstof-totaal **	kg/ton	4,4	2,6	2,6	0,59	7,3
Ammonium-stikstof	kg/ton	2,9	1,8	2,0	0,22	4,1
Fosfaat	kg/ton	1,5	0,5	0,5	0,03	7,1
Kalium	kg/ton	3,1	2,4	2,8	2,5	3,0
CZV	g/l	45		16	3,1	
pH	-	7,9	8,6	8,5	8,2	8,2

* Inschatting, niet gemeten

** Stikstoftotaal is berekend als $N\text{-Kjeldahl} + N\text{-NO}_2^- + N\text{-NO}_3^-$

slechts beperkte nitrificatie optreedt. De oorzaak van de slechte stikstof-verwijdering in het biologische proces is waarschijnlijk een te lage temperatuur in het systeem. De gemiddelde dag/nacht-buitentemperatuur in december 2000 en januari 2001 bedroeg 4°C (De Bilt) (KNMI, 2001a en 2001b); de temperatuur van de lucht bovenin de tanks bedroeg 9 à 10°C op 10 januari 2001 (overdag) (tabel 5).

Het is bekend dat nitrificatie sterk omlaag gaat bij temperaturen onder 15°C (Kaa en Van Gastel, 1997). Hoewel de temperatuur van de mest in de opslag het gehele jaar door circa 15°C bedraagt en met deze temperatuur het systeem ingaat, wordt de temperatuur van de mest in het systeem verlaagd. Enerzijds wordt warmte aan het systeem toegevoegd door de biologische afbraak van

organische stof, anderzijds wordt warmte afgevoerd doordat er koude buitenlucht door de mestvloei-stof borrelt. Verder is de installatie opgesteld in de buitenlucht en slechts beperkt thermisch geïsoleerd zodat verdere afkoeling kan optreden.

De gemeten concentratie N-totaal in het effluent na bezinking (0,59 kg/ton), is veel lager dan de N-totaal concentratie in het water dat rechtstreeks uit de nitrificatietank komt (2,6 kg/ton; hoofdzakelijk ammonium). Waarschijnlijk bevindt zich in de bassins een grote hoeveelheid water met een laag stikstofgehalte, geproduceerd in een periode dat de installatie goed draaide. Op het moment van meten loosde men water met een hoger stikstofgehalte in het bassin, maar aangezien de hydraulische verblijftijd in de bezinkingsbassins

Tabel 3: Concentraties in de verschillende stromen van beluchtingssysteem Biovink (meting 10 september 2001) (DR = denitrificatietank; NR = nitrificatietank)

	Eenheid	Drijfmest	Dunne fractie 1 (effluent DR)	Dunne fractie 2 (effluent NR)	Water (na bezinking)
Massa	% totaal	100	100	100	80
Droge stof	kg/ton	15,2	16,1	15,1	7,6
Organische stof	kg/ton	8,5	5,6	6,0	2,2
Stikstof-totaal *	kg/ton	2,2	0,46	0,36	0,22
Ammonium-stikstof	kg/ton	1,63	0,12	< 0,10	0,10
Fosfaat	kg/ton	0,23	0,13	0,15	< 0,05
Kalium	kg/ton	2,27	2,45	2,48	2,25
PH	-	7,6	9,8	7,4	8,5

* Stikstof-totaal is berekend als $N\text{-Kjeldahl} + N\text{-NO}_2^- + N\text{-NO}_3^-$

ruim 2 maanden bedraagt, kan de stikstofconcentratie in het bassin gedurende langere tijd laag blijven. Bovendien wordt het water in het bassin verdund als gevolg van het invangen van regenwater. Bij gemiddelde neerslag van 760 mm/jaar (KNMI, 2001e) wordt in het bassin 360 m³ regenwater/jaar opgevangen; deze hoeveelheid bedraagt 11% van de totale hoeveelheid effluent die geloosd wordt. Het is onwaarschijnlijk dat het stikstofgehalte in het bezinkingsbassin daalt door nitrificatie; het optreden van denitrificatie in het bezinkingsbassin is wel mogelijk.

Door het slechte verwijderingsrendement van stikstof gedurende de meetperiode in december 2000 en januari 2001, zijn op 10 september 2001 (relatief warm jaargetijde) nogmaals monsters genomen. De resul-

taten van deze metingen staan in tabel 3. Tevens zijn de gasvormige emissies uit het systeem gemeten. Tijdens de meting bedroeg de temperatuur van de lucht bovenin de tanks 25 - 28°C (overdag) (tabel 5). De gemiddelde dag/nacht-buitentemperatuur in september 2001 bedroeg 13°C (De Bilt) (NMI, 2001c).

Uit tabel 3 blijkt dat de verwijdering van stikstof nu veel hoger is; de stikstofverwijdering in het nitrificatie- en denitrificatieproces bedraagt 84% en de stikstofconcentratie van het effluent van de nitrificatietank 0,36 kg/ton ofwel 360 mg/l.

We concluderen dat het van groot belang is dat de temperatuur in het systeem niet te laag wordt wanneer de buitentemperatuur daalt. Dit betekent dat we het warmteverlies in de winter zo veel mogelijk moeten

Tabel 4: Toevoegmiddelen en chemicaliën biologisch systeem Biovink

	Verbruik (l/ton verwerkte mest)
Melasse	0,1 *
Kalkmelk (1 kg kalk / 10 literwater)	57 **
Anti-schuimmiddel (Spumex)	0,0013 *

* Volgens opgave door varkenshouder (Evink, 2001)

** Gemeten tijdens onderzoek

tegengaan door de installatie thermisch beter te isoleren. Alleen dan kan een succesvolle stikstofverwijdering worden gerealiseerd.

We merken op dat de droge stof, stikstof-, fosfaat- en kaliumconcentraties van de ingaande mest in tabel 3 veel lager zijn dan gedurende de eerdere metingen (tabel 2).

Onduidelijk is welke consequenties dit heeft voor de berekende stikstofverwijdering en de uitgaande stikstofconcentratie. Wanneer de installatie slechts kortdurend werd belast met deze lage concentraties ligt de werkelijke stikstofverwijdering (%) tijdens de meting in september 2001 waarschijnlijk nog hoger.

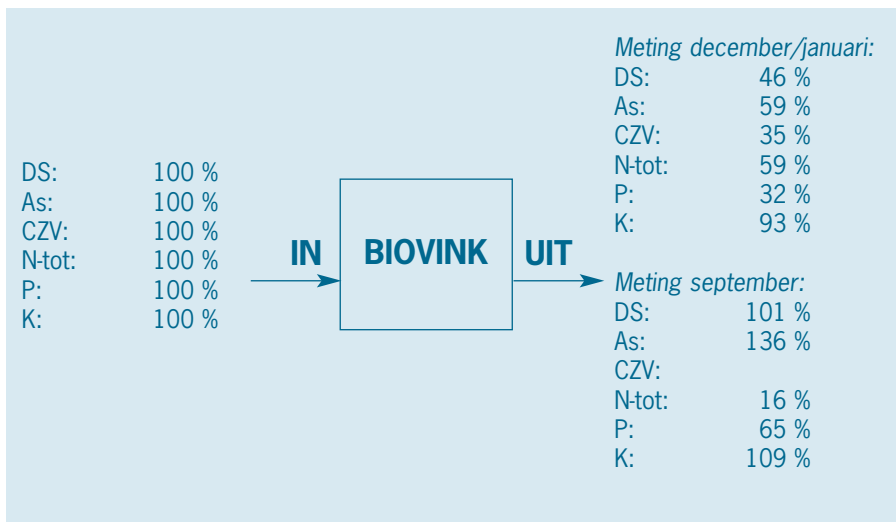
Toevoegmiddelen en chemicaliën
In tabel 4 staat welke toevoegmiddelen en chemicaliën in het proces worden gebruikt.

Het gebruik van anti-schuimmiddel is onregelmatig. De installatie draait soms een half jaar zonder toevoeging van anti-schuimmiddel gevolgd door een periode waarin continu

gebruik van dit middel noodzakelijk is. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de variatie in samenstelling van de ingaande mest en/of fluctuaties in de werking van het biologisch systeem. Het gebruik van melasse en kalkmelk is vrij constant in de tijd.

4.3 Massabalans

Met behulp van de gegevens in tabel 2 en tabel 3 kan een balans worden gemaakt voor de verschillende componenten. Het doel van het opstellen van een massabalans is om de gemeten hoeveelheid die het systeem binnenkomt te vergelijken met de gemeten hoeveelheid die het systeem verlaat. Dit geeft informatie over de verwijdering van stikstof en organische stof in het biologische systeem en over de betrouwbaarheid van de metingen. In figuur 4 is de balans van het Biovink systeem weergegeven, exclusief de nabezinkingsstap. De waarden in figuur 4 zijn niet gecorrigeerd voor het gemeten stikstofverlies naar de omgeving in de vorm van ammoniak en lachgas (tabellen 8 en 12).



Figuur 4 Massabalans biologische Biovink systeem (exclusief nabezinking)

In een biologische mestverwerking-systeem (nitrificatie en denitrificatie) verwachten we verwijdering van droge stof, CZV en stikstof. Verwijdering van as, fosfaat en kalium wordt niet verwacht, mits er geen bezinking in het systeem optreedt.

Wanneer we kijken naar de massabalansen in figuur 4 zien we dat er inderdaad droge stof, CZV en stikstof is verdwenen en de hoeveelheid kalium min of meer gelijk blijft (afwijking -7% tot +9%). We zien ook een grote afwijking in de balans van fosfaat en as. De afwijking in de fosfaat- en asbalans hangt waarschijnlijk samen met een niet-representatieve monsternamen. Het aantal monsters dat genomen is (1 monster per week ofwel 1 kg monster per 60 ton ingaande drijfmest) is waarschijnlijk onvoldoende om de optredende fluctuaties in het fosfaat- en asgehalte

van de ingaande drijfmest te meten. De hydraulische verblijftijd van het systeem is ruim 2 weken, terwijl de meting slechts een momentopname is. De gehalten in de ingaande drijfmest bij de meting in september zijn enige malen lager dan de metingen in december/januari. Dit geeft eveneens aan dat de uitgevoerde monsternamen geen representatief beeld geeft voor een langere periode. Bovendien wordt de bemonstering van het effluent van de nitrificatietank mogelijk bemoeilijkt door de toediening van kalkmelk aan het begin van het proces. Hierdoor worden vlokken gevormd doordat het aanwezige fosfaat reageert met de kalkmelk. Deze vlokken zullen zich ook in de te bemonsteren vloeistof bevinden, omdat in de nitrificatie- en denitrificatietank geen bezinking plaatsvindt. De nitrificatietank wordt actief gemengd door het beluchtings-

systeem en de inhoud van de denitrificatietank wordt in beweging gehouden door de hoge doorstroming (recirculatiestroom) en de mixer. Door de aanwezigheid van vlokken in de te bemonsteren vloeistof is het moeilijk om een representatief monster te nemen. Om een sluitende balans te krijgen zal monsternamen dus frequenter moeten plaatsvinden.

4.4 Gasvormige emissies

Op drie verschillende data is de gasvormige emissie van de nitrificatie- en de denitrificatietank vastgesteld.

Klimaat

In tabel 5 zijn de klimaatgegevens in beide tanks gedurende de drie meetdagen weergegeven.

De buitentemperatuur en de temperatuur in het systeem lagen tijdens de eerste twee metingen lager dan tijdens de laatste meting.

Ventilatie

In tabel 6 is het gemeten ventilatie-debiet van de nitrificatietank weergegeven. Ter vergelijking daarbij de beluchtingscapaciteit volgens de specificaties van de pomp en de beluchtingselementen.

Tabel 5: Gemiddelde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid gedurende de metingen

Datum	Tijd	Temperatuur (°C)			Relatieve luchtvochtigheid (%)	
		buiten *	NR-tank	DR-tank	NR-tank	DR-tank
		min - max				
13-12-2000	10u00 - 13u15	9 - 13	-	-	-	-
10-01-2001	11u30 - 13u45	1 - 4	10,0	9,1	-	99
10-09-2001	10u35 - 13u45	11 - 16	28,0	25,3	97,5	100

* Minimum en maximum buitentemperatuur te De Bilt (KNMI, 2001d)

Tabel 6: Ventilatie-debiet nitrificatietank (m₃/uur)

Datum	Gemeten *	Volgens specificaties
13-12-2000		100 **
10-01-2001	71	100 **
10-09-2001	100	120 ***

* Werkelijke ventilatie ligt waarschijnlijk hoger als gevolg van lekkage van de tank

** Beluchtingspomp draait op 50 Hz

*** Beluchtingspomp draait op 60 Hz

Tabel 7: Gehanteerde ventilatiedebiet voor berekening emissies ammoniak, geur en broeikasgassen (m³/uur)

Datum	Nitrificatietank	Denitrificatietank
13-12-2000	71 *	1 ***
10-01-2001	71 **	10 ****
10-09-2001	100 **	10 ****

- * Aangenomen wordt dat het debiet gelijk is aan het gemeten debiet op 10 januari 2000
- ** Gemeten
- *** Het ventilatiedebiet is niet gemeten, maar ingeschat; 24 uur voorafgaand aan de concentratiemetingen zijn de ventilatieopeningen in de tank gesloten
- **** Het ventilatiedebiet is niet gemeten, maar ingeschat. De ventilatieopeningen in de tank zijn niet gesloten

Het gemeten ventilatiedebiet was op zowel 10 januari 2001 als op 10 september 2001 20 tot 30% lager dan het ventilatiedebiet volgens de specificaties van de pomp en beluchtingselementen. Er treedt enige lucht lekkage uit de nitrificatietank op door de aanwezigheid van een aantal openingen die we tijdens de meting niet konden afsluiten. Hierdoor is het gemeten ventilatiedebiet een onderschatting van het werkelijke ventilatiedebiet. Het is niet duidelijk of deze lekkage geheel verantwoordelijk is voor het lage debiet; mogelijk voldoet het beluchtingssysteem niet aan de specificaties. Om dit te controle-

ren moet het luchtdebiet direct bij de pomp gemeten worden.

Voor het berekenen van de emissies van ammoniak, geur en broeikasgassen zijn de ventilatiedebieten gehanteerd die in tabel 7 staan.

Ammoniakemissie

De ammoniakemissie wordt berekend als het product van het ventilatiedebiet (tabel 7) en de gemeten ammoniakconcentratie. In tabel 8 staat de berekende emissie van ammoniak. De emissies zijn gecorrigeerd voor de achtergrondconcentratie.

Tabel 8: Ammoniakemissie biologisch mestzuiveringssysteem Biovink (g NH₃ / uur)

Datum	Nitrificatietank	Denitrificatietank	Totaal
13-12-2000	0,02	0,002	0,02
10-01-2001	1,99	0,46	2,45
10-09-2001	0,01	0,66	0,67
Gemiddeld	0,67	0,37	1,05

Tabel 9: Berekening ammoniakemissie varkensbedrijf Evink, Oosterwolde (Gld) volgens Wijziging uitvoeringsregeling ammoniak en veehouderij (Anoniem, 2000)

Diercategorie	Code	Emissiefactor NH ₃ (kg/dpl/jaar)	Dierplaatsen (kg/jaar)	NH ₃ emissie
Vleesvarkens	D3.4.2	3,5	30	105
Vleesvarkens	D3.2.10.2	2,0	50	100
Dekberen	D2.4	5,5	10	55
Guste en dragende zeugen	D1.3.12	4,2	242	1016
Kraamzeugen	D1.2.16	8,3	62	515
Biggen	D1.1.15.1	0,6	1020	612
Totaal				2403

De relatief hoge ammoniakconcentratie in de nitrificatietank op 10 januari 2001 is mogelijk veroorzaakt door een slecht verlopende nitrificatie. Hierdoor blijft de ammoniumconcentratie in de mestvloeistof hoog als gevolg waarvan een deel uit de vloeistof gestript wordt tijdens de beluchting. Dit verklaart echter niet dat de emissie op 13 december 2000 veel lager was aangezien de ammoniakconcentratie in de mestvloeistof op beide data vergelijkbaar was.

De berekende emissie uit de denitrificatietank is op 13 december 2000 veel lager dan op de twee andere meetdagen. De oorzaak hiervan is mogelijk dat het debiet uit de denitrificatietank niet is gemeten, maar geschat.

Het is van belang om de ammoniakemissie van het mestverwerkingsstelsel te kunnen relateren aan de totale ammoniakemissie van het bedrijf. Op deze manier kan men bepalen of het toepassen van het

mestverwerkingsstelsel een substantiële verhoging van de emissie veroorzaakt.

Daarom wordt berekend wat de theoretische ammoniakemissie van het bedrijf is, gebaseerd op de emissiefactoren, gehanteerd door de wetgever (Wijziging uitvoeringsregeling ammoniak en veehouderij (Anoniem, 2000)). Het aantal dierplaatsen is gebaseerd op de Hinderwetvergunning van het bedrijf Evink. In tabel 9 wordt de ammoniakemissie van het bedrijf Evink op deze wijze berekend.

Wanneer we aannemen dat de gemiddelde gemeten ammoniakemissie (tabel 8: 1,05 g/uur (= 9,2 kg/jaar)) representatief is voor de emissie die gedurende het gehele jaar optreedt, kan dit vergeleken worden met de theoretische ammoniakemissie van het gehele bedrijf (tabel 9: 2403 kg/jaar).

Dit betekent dat de ammoniakemissie van het bedrijf met 0,4% toeneemt door het biologische mestver-

werkingsysteem. Ongeveer 0,07% van de hoeveelheid stikstof die het mestverwerkings-systeem ingaat als drijfmest wordt geëmitteerd als ammoniak. Er is echter geen sprake van een representatieve meting van de ammoniakemissie. De gemiddelde ammoniakemissie in tabel 7 is gebaseerd op slechts drie momentopnamen die onderling ook nog eens zeer sterk verschillen. Bovendien is de emissie uit de denitrificatietank onzeker omdat de ventilatiesnelheid van deze tank niet gemeten is.

Geuremissie

De geuremissie wordt berekend als het product van het ventilatiedebiet (tabel 7) en de gemeten geurconcentratie. Tabel 10 toont de berekende emissies van geur. De emissies zijn niet gecorrigeerd voor de achtergrondconcentratie.

Aangezien de geurmetingen niet zijn gecorrigeerd voor de achtergrondconcentratie zijn de werkelijke geuremissies mogelijk lager. Onduidelijk is waarom de gemeten geuremissies uit zowel de nitrificatie- als de denitrificatietank sterk variëren.

Het is van belang om de gemeten geuremissie van het mestverwerkings-systeem te relateren aan de totale geuremissie van het bedrijf. Zo kunnen we bepalen of het mestverwerkings-systeem een substantiële verhoging van de emissie veroorzaakt. Daarom wordt berekend wat de theoretische geuremissie van het bedrijf is, gebaseerd op literatuurwaarden voor geuremissie uit traditionele huisvesting (Ogink en Lens, 2001; Ogink en Groot Koerkamp, 2001). Het aantal dierplaatsen is gebaseerd op de Hinderwetvergunning van het bedrijf Evink. In tabel 11 wordt de geuremissie van het bedrijf Evink op deze wijze berekend.

Wanneer we aannemen wordt dat de gemiddelde gemeten geuremissie (tabel 10) representatief is voor de emissie die gedurende het gehele jaar optreedt, kan deze emissie vergeleken worden met de theoretische geuremissie (tabel 11). Dit betekent dat door het biologische mestverwerkings-systeem de emissie van het gehele bedrijf met 0,6% toeneemt (berekend volgens bijlage 2). Er is geen sprake van een representatieve meting van de geuremissie.

Tabel 10: Geuremissie biologisch mestzuiveringssysteem Biovink (OUE/s) *

Datum	Nitrificatietank	Denitrificatietank	Totaal
13-12-2000	96,6	0,4	97,0
10-01-2001	5,0	1,4	6,4
10-09-2001	63,1	92,5	155,6

* Niet gecorrigeerd voor achtergrondconcentratie

Tabel 11: Berekening geuremissie varkensbedrijf Evink, Oosterwolde (Gld) op basis van literatuurwaarden voor traditionele huisvesting (Ogink en Lens, 2001; Ogink en Groot Koerkamp, 2001)

Diercategorie	Geuremissie literatuurwaarde (OU _E /dpl/s)	Dierplaatsen	Geuremissie (OU _E /s)
Vleesvarkens	22,4	30	672
Vleesvarkens	22,4	50	1120
Dekberen	-	10	-
Guste en dragende zeugen	19,0	242	4598
Kraamzeugen	17,8	62	1104
Biggen	7,2	1020	7344
Totaal			14838

De gemiddelde geuremissie in tabel 10 is gebaseerd op slechts drie momentopnamen die onderling ook nog eens zeer sterk verschillen. Bovendien is de emissie uit de denitrificatietank onzeker omdat de ventilatiesnelheid van deze tank niet gemeten is.

Broeikasgasemissie

De emissie van broeikasgassen wordt meestal uitgedrukt in CO₂-equivalenten. Dit is het product van de emissie van het gas en de *Global Warming Potential* (GWP). De GWP van een gas geeft aan welke bijdrage dit gas levert aan het versterkte broeikaseffect, in verhouding tot kooldioxide, uitgaande van een periode van 100 jaar. De concentratie van een broeikasgas kunnen we uitdrukken in CO₂-equivalenten door de concentratie te vermenigvuldigen met de GWP van het betreffende broeikasgas.

Kooldioxide, methaan en lachgas zijn broeikasgassen met een GWP van resp. 1, 21 en 310 (IPCC, 1996). Bij het berekenen van de broeikasgasemissie van een vervuiliingsbron is het gebruikelijk om alleen de gassen mee te rekenen die daadwerkelijk een bijdrage leveren aan het broeikas-effect. Aangezien de emissie van CO₂ uit de mestverwerkingsinstallatie afkomstig is van oxidatie van plantaardig materiaal (korte kringloop) en niet van verbranding van fossiele brandstoffen, wordt deze niet onderzocht. Dit betekent dat alleen de CH₄- en N₂O-emissie worden onderzocht.

De resultaten van de emissiemetingen van methaan en lachgas worden gegeven in tabel 12. De emissies zijn gecorrigeerd voor de achtergrondconcentratie.

Tabel 12: Broeikasgasemissie NR-tank en DR-tank (g/uur)

Datum	Nitrificatietank		Denitrificatietank		Totaal *
	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -eq **
13-12-00	7,2	300	0,03	1,7	94000
10-01-01	2,0	0	0,06	0,0021	44
10-09-01			0,14	0,00036	

* Optelsom van emissies uit nitrificatie- en denitrificatietank van zowel CH₄ als N₂O

** Emissie in CO₂-equivalenten door vermenigvuldiging van emissie met Global Warming Potential

Op 13 december 2000 is de emissie van lachgas uit de nitrificatietank zeer hoog. Het is bekend dat een hoge emissie van lachgas uit beluchtingssystemen kan duiden op een slecht werkende nitrificatie (Burton et.al., 1993). Onduidelijk is waarom de lachgasemissie op 10 januari 2001 veel lager is en waardoor de gemeten variaties in emissie van methaan en lachgas zijn ontstaan. Het is niet mogelijk om de gemiddel-

de emissie van broeikasgassen per jaar uit te rekenen. Het aantal metingen (drie momentopnamen) is hiervoor te klein en de gevonden variatie in de metingen te groot.

4.5 Energiegebruik

Het totale energieverbruik van de installatie bedroeg gemiddeld 27 kWh / ton verwerkte mest.

5 Economische evaluatie

Tabel 13: Verwerkingskosten systeem biologisch mestverwerkingsysteem **Biovink**
(in €, excl. afzet producten)

Mestverwerkingsinstallatie			
Capaciteit:	(ton drijfmest/uur)	0,375	
Draaiuren:	(uur/jaar)	8000	
Totaal:	(ton drijfmest/jaar)	3000	
<hr/>			
1. Investeringskosten			
<hr/>			
	Afschrijvingsduur		
Biovink systeem	7,5 jaar *	102.000,00	**
Aanleg riool	10 jaar *	4.000,00	**
Bezinkingsbassin (2x300 m3)	10 jaar *	13.500,00	**
		<hr/>	
Totaal investeringen:		119.500,00	
	Per ton:	39,83	
<hr/>			
2. Exploitatiekosten per jaar			
<hr/>			
Vaste kosten:			
Afschrijving:	3%	15.350,00	*
Onderhoud:	2,75%	3.585,00	*
Rente:		3.286,25	*
Totaal vaste kosten:		22.221,25	
	Per ton:	7,41	
<hr/>			
Variabele kosten:			
Energie: elektriciteit	27 kWh/ton à 0,062	5.022,00	***
Melasse	0,1 l/ton à 0,65	195,00	**
Kalkmelk	57 l/ton à 0,01	1.710,00	***
Anti-schuimmiddel	1,3 l/ton à 7,00	27,30	**
Arbeid	0,25 uur/dag à 18,00 **	1.642,50	**
Totaal variabele kosten:		8.596,80	
	Per ton:	2,87	
<hr/>			
Totaal exploitatiekosten:		30.818,05	
(vaste + variabele kosten)	Per ton:	10,27	
<hr/>			

* Uitgangspunt gehanteerd door Praktijkonderzoek Veehouderij

** Volgens opgave door varkenshouder (Evink, 2001)

*** Gemeten tijdens onderzoek

Tabel 13 toont de resultaten van de kostenberekening van het mestverwerkingsysteem Biovink. De uitgangspunten van de berekening zijn reeds toegelicht. In de berekening wordt uitgegaan van de noodzaak van twee bezinkingsbassins in plaats van drie bezinkingsbassins zoals die op dit moment bij het Biovink systeem in gebruik zijn.

De verwerkingskosten van het biologisch mestverwerkingsysteem bedragen dus € 10,27 / ton drijfmest, excl. afzet van de producten.

In tabel 14 worden twee verschillende scenario's gedefinieerd voor de

ontwikkeling van de afzetkosten of opbrengsten van de producten uit het biologische mestverwerkingsysteem Biovink. In het negatieve scenario wordt ervan uitgegaan dat de effluentgehalten van stikstof en CZV (tijdens de winterperiode gemeten) representatief zijn voor het gehele jaar.

Een negatief bedrag betekent dat men moet betalen voor de afzet van het betreffende product, een positief bedrag betekent een opbrengst.

Met behulp van deze scenario's is berekend wat de consequenties zijn voor de afzetkosten van de producten uit het mestverwerkingsysteem.

Tabel 14: Scenario's: afzetopbrengsten

Product	Scenario1 - negatief	Scenario 2 - positief
	(€ / ton)	(€ / ton)
Product 1: Dikke fractie	-18,00	0,00
Product 2: Water	-4,02 *	-0,50 **

- * Lozing op riool berekend volgens vervuulingsformule uitgaande van gemeten gehalte CZV en N-totaal tijdens winterperiode (bijlage 3). Wanneer het systeem verder geoptimaliseerd wordt, dalen deze kosten.
- ** Versproeien op eigen land (excl. grondkosten) ervan uitgaande dat door optimalisatie van het systeem N-totaal wordt verlaagd tot < 200 mg/l. N.B.: Op dit moment is N-totaal > 200 mg/l.

Tabel 15: Afzetopbrengst producten (in €)

Product	Hoeveelheid (ton/jaar)	Scenario 1 (negatief)	Scenario 2 (positief)
Product 1: dikke fractie	600	-10.800,00	0,00
Product 4: water	2400	-9.648,00	-1.200,00
Opbrengst producten:		-20.448,00	-1.200,00
	Per ton:	-6,82	-0,40

Dit is weergegeven in tabel 15.

In het positieve scenario is dus sprake van een kostenpost van € 0,40 per ton verwerkte drijfmest. De totale kosten van het systeem komen dan uit op $€ 10,27 + € 0,40 = € 10,67$ per ton verwerkte drijfmest.

In het negatieve scenario is dus sprake van een extra kostenpost van € 6,82 per ton verwerkte drijfmest. De totale kosten van het systeem komen dan uit op $€ 10,27 + € 6,82 = € 17,09$ per ton verwerkte drijfmest.

6 Conclusies en aanbevelingen

- 1 De verwerkingscapaciteit van het biologische mestverwerkingsstelsel Biovink bedraagt 3.000 ton/jaar. Het stelsel is echter nog niet geheel ontwikkeld en geoptimaliseerd.
- 2 De kosten van het mestverwerkingsstelsel Biovink bedragen ruim € 10,- per ton ingaande drijfmest (excl. afzet van producten). Voor de afzet van het effluent en het slib moet men afhankelijk van de ontwikkeling van een afzetmarkt en van verdere optimalisatie van het mestverwerkingsproces, rekening houden met een extra kostenpost van € 0,4 tot € 7,- per ton behandelde drijfmest.
- 3 In de zomerperiode wordt een stikstofverwijdering gerealiseerd van minimaal 84% en een CZV-verwijdering van minimaal 65%. Het water dat resteert na bezinking heeft een stikstof-totaalgehalte van 200-500 mg/l en een CZV-gehalte van ongeveer 3000 mg/l.
- 4 Grote fluctuaties treden op in de stikstofverwijderende werking van het stelsel. Waarschijnlijk kan door procesoptimalisatie en een betere procesregeling de werking van het stelsel verbeteren. Hierdoor kunnen fluctuaties in de werking van het stelsel deels voorkomen worden.
- 5 Voor een succesvolle stikstofverwijdering mag de temperatuur in het stelsel niet lager zijn dan 15°C. Het is noodzakelijk het stelsel beter thermisch te isoleren zodat men te lage temperaturen in de winter kan voorkomen.
- 6 De emissie van geur en ammoniak uit het mestverwerkingsstelsel is zeer laag in vergelijking met de emissie uit stallen en mestopslag. Het mestverwerkingsstelsel zorgt dus nauwelijks voor een toename van de emissie van het bedrijf.

7 Biovink in breder perspectief

Mineralenboekhouding en afzet-contract

Een biologisch mestverwerkings-systeem is erop gericht stikstof te verwijderen in de vorm van N_2 -gas. In het kader van de Vrijstellingsregeling mest be- en verwerking

Meststoffenwet (Anoniem, 1997a) kan men voor deze hoeveelheid stikstof een vrijstelling krijgen van de MINAS-heffing.

Voor de Biovink installatie op het bedrijf van E. Evink te Oosterwolde (Gld.) is een dergelijke vrijstelling verkregen. Per 1 januari 2002 is de wetgeving met betrekking tot de mestafzetcontracten van kracht geworden. In deze wetgeving is opgenomen dat een vrijstelling wordt verleend voor de biologische stikstof-verwijdering. Er behoeft dus geen afzetcontract of exportcontract te worden afgesloten voor de stikstof die in het systeem wordt afgebroken.

Lozing effluent

Het effluent van de Biovink installatie wordt geloosd op het riool. Hiervoor is een lozingsvergunning verkregen bij het Waterschap Veluwe. Door de hoge resthoeveelheid stikstof en organische verbindingen in het water zijn de lozingskosten per m^3 tamelijk hoog (€ 4,-/ m^3 tijdens winterperiode).

Het is noodzakelijk het Biovink systeem verder te optimaliseren

zodat men het gehele jaar lagere concentraties stikstof en organische verbindingen in het effluent kan realiseren. Hierdoor kunnen de lozingskosten sterk verlaagd worden. In regio's waar men geen lozingsvergunning krijgen, moet in ieder geval een andere afzetmogelijkheid van het effluent worden gezocht. Zo kan het effluent in de nabije omgeving van de Biovink aangewend worden op gras- of bouwland.

Export dikke fractie

De dikke fractie die resteert na de bezinking in het Biovink systeem is door de Rijksdienst voor de keuring van Vee en Vlees (RVV) erkend als een bewerkte mestfractie die geëxporteerd mag worden. Op dit moment probeert men om in Duitsland een afzetmarkt te vinden voor dit product. Dit betekent dat een aanzienlijke hoeveelheid mineralen buiten de Nederlands landbouw wordt afgezet, waardoor voor deze mineralen geen afzetcontract behoeft te worden afgesloten. Van de Bezirksregierung Köln heeft de heer Evink begin 2002 een schrijven ontvangen met de mededeling dat de af te zetten dikke fractie als handelswaar wordt beoordeeld en niet als een afvalstof. Hierdoor is het product in dat district gemakkelijker af te zetten.

Kosten versus opbrengst

Algemeen kunnen we stellen dat een mestverwerkingsysteem alleen rendabel is wanneer de producten een betere marktpositie hebben dan het uitgangproduct, onbehandelde varkensdrijfmest. De verwerkingskosten van het Biovink systeem bedragen € 10,- / ton verwerkte drijfmest. Om

deze kosten te kunnen dragen moet de afzet van de producten uit de mestbewerking minimaal € 10,- / ton goedkoper zijn dan de afzet van onbehandelde drijfmest. Dit is alleen mogelijk wanneer een markt wordt gecreëerd voor deze producten. Op dit moment is niet te zeggen of dit haalbaar is.

Literatuur

- Anoniem. 1996. Werkgroep Emissiefactoren. Meetprotocol voor geuremissies uit stallen. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Anoniem, 1997a. Vrijstellingsregeling mest be- en verwerking Meststoffenwet. Staatscourant 1997, 244, 15, Den Haag.
- Anoniem. 1997b. Vrijstellingsregeling waterige fracties en reinigingswater. Staatscourant 1997, 33, p. 8, Den Haag.
- Anoniem. 1998. Meststoffenwet. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag.
- Anoniem. 2000. Wijziging Uitvoeringsregeling Ammoniak en Veehouderij. Interimwet Ammoniak en Veehouderij, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Staatscourant 139, Den Haag, bijlage 4 van de 7de wijziging UAV.
- Burton, C.H.; Sneath, R.W.; Farrent, J.W. 1993. Emissions of nitrogen oxide gases during aerobic treatment of animal slurries. Bioresource Technology, 45, p. 233-235.
- Evink, E. 2001. Eindrapport Biovink, inclusief aanvullingen.
- Gijsel, P.; Hol, J.M.G.; Starmans, D.A.J. 2001. Gasvormige emissie bij mestverwerkingsinstallaties. Biologische mestzuivering - Systeem Evink. IMAG-nota P 2001-112. IMAG, Wageningen.
- Hobbs, P.J., T.H. Misselbrook; B.F. Pain. 1995. Assessment of odours from livestock wastes by a photoionization detector, an electronic nose, olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry. J. of Agr. Eng. Res. 60:137-144.
- IPPC. 1996. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change; J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell, eds. Cambridge University Press. Cambridge, U.K.

- Kaa, van der, C.C.R., Gastel, van, J.P.B.F. 1997. Ontwerp van biologische stikstofverwijderingssystemen voor varkensmest. Proefverslag nummer P 1.192. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.
- KNMI. 2001a. <http://www.knmi.nl/voorl/maand/archief/maand/dec00.html>
- KNMI. 2001b. <http://www.knmi.nl/voorl/maand/archief/maand/jan01.html>
- KNMI. 2001c. <http://www.knmi.nl/voorl/maand/archief/maand/sep01.html>
- KNMI. 2001d. <http://www.knmi.nl/voorl/kd/lijsten/daggem/etmgeg.cgi>
- KNMI. 2001e. <http://www.knmi.nl/voorl/nader/nattetijden.htm>
- NNI. 1995/1996. NVN 2880/A1 Luchtkwaliteit, sensorische geurmetingen met een olfactometer. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft (1995) met wijzigingsblad A1, in brief aan geaccrediteerde instellingen (1996).
- NNI. 1988. Overview of standards for analysis of water and sludges (NEN) (In Dutch), Netherlands Institute of Normalisation (Nederlands Normalisatie Instituut), Delft, The Netherlands, 31 pp.
- Ogink, N.W.M.; Groot Koerkamp, P.W.G. 2001. Comparison of odour emissions from animal housing systems with low ammonia emissions. Proceedings: 1st IWA International Conference on Odour and VOC's: Measurement, Regulation and Control Techniques. The University of NSW, Sydney, Australia, March 25-28 2001.
- Ogink, N.W.M.; Lens, P.N. 2001. Geuremissie uit de veehouderij. Overzichtsrapportage 1996-1999. Rapport 2001-14. IMAG, Wageningen, 40 pp.
- Wintjens, Y., 1993. Gaswasfles. In: E.N.J. van Ouwerkerk (ED.): Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Onderzoek inzake de mest- en ammoniak-problematiek in de veehouderij 16, DLO, Wageningen, p. 38-40.

Bijlagen

Bijlage 1: Samenstelling van de verschillende stromen

Gemiddelde samenstelling van de verschillende stromen in het Biovink systeem (meting december 2000 – januari 2001)

	Eenheid	M1	M2	M3	M4	M5	Melasse
DS	kg/ton	53	25	25	9,1	245	791
As	kg/ton	18,0	10,6	10,6	5,9	119	116
N-Kjeldahl	kg/ton	4,4	2,6	2,6	0,41	7,2	6,9
N-NH ₄	kg/ton	2,9	1,8	2,0	0,22	4,1	-
N-NO ₃	mg/kg	1,4	1,1	1,1	135	1,8	42
N-NO ₂	mg/kg	0,32	0,15	0,13	52	0,25	0,18
P	kg/ton	1,5	0,47	0,48	0,028	7,1	0,8
K	kg/ton	3,1	2,4	2,8	2,5	3,0	-
Cu	mg/kg	26	-	9,5	4,0	27	4,1
Zn	mg/kg	57	-	21	6,0	94	7,4
Cd	mg/kg	0,43	-	0,43	0,43	0,43	0,43
VVZ	mg/kg	114	17	45	4,9	85	-
CZV	mg/kg	45000	-	16000	3100		700000
PH	-	7,9	8,6	8,5	8,2	8,5	5,3
EC	µS/cm	-	-	-	10000	-	-

Toelichting:

- M1 : ingaande drijfmest
- M2 : effluent denitrificatie
- M3 : effluent nitrificatie
- M4 : effluent nitrificatie na bezinking
- M5 : slib uit bezinking

Bijlage 2

De geometrisch gemiddelde geuremissie van i meetdagen wordt als volgt berekend:

$$M = \exp ((\ln G_1 + \dots + \ln G_i) / i) \quad (OU_E/s)$$

M = geometrisch gemiddelde geuremissie van i meetdagen (OU_E/s)

G_i = $E_{stal} + E_{mb,i}$ (OU_E/s)

E_{stal} = geuremissie varkensbedrijf berekend op grond van literatuurwaarden (OU_E/s)

$E_{mb,i}$ = gemeten geuremissie uit mestverwerkinginstallatie op meetdag i (OU_E/s)

Vervolgens wordt de toename van de geuremissie van het bedrijf als gevolg van de mestverwerkinginstallatie als volgt berekend:

$$P = (M / E_{stal} - 1) \times 100 \quad (\%)$$

P = toename geuremissie als gevolg van mestverwerking (%)

M = geometrisch gemiddelde geuremissie van i meetdagen (OU_E/s)

E_{stal} = geuremissie varkensbedrijf berekend op grond van literatuurwaarden (OU_E/s)

Bijlage 3

Wanneer men water loost wordt op het riool, moeten er lozingskosten worden betaald die afhangen van de vervuillingslast. De vervuillingslast wordt uitgedrukt in vervuillingsequivalent (V.E.) of inwonerequivalenten (I.E.) en als volgt uitgerekend:

$$\text{aantal I.E.} = Q / 136 \times (\text{CZV} + 4,57 \times \text{N-Kj})$$

Q = lozingsdebiet (m³/dag)

CZV = chemisch zuurstofverbruik (g/m³)

N-Kj = concentratie N-Kjeldahl (g/m³)

Per I.E. moet een bepaald bedrag betaald worden. Afhankelijk van het betreffende waterschap bedraagt de heffing € 27,- tot € 55,- per I.E. per jaar.

Op grond van de metingen die in december 2000 en januari 2001 zijn gedaan aan de Biovink mestverwerkingsinstallatie, kan de volgende berekening worden gemaakt voor de lozing van het effluent (na bezinking):

$$Q = 3000 \times 0,8 / 365 = 6,6 \text{ m}^3/\text{dag}$$

$$\text{CZV} = 3100 \text{ g/m}^3 \text{ (bijlage 1)}$$

$$\text{N-Kj} = 410 \text{ g/m}^3 \text{ (bijlage 1)}$$

Het aantal I.E.'s bedraagt dan:

$$\text{aantal I.E.} = 6,6 / 136 \times (3100 + 4,57 \times 410) = 241$$

De lozingskosten op het bedrijf Evink bedragen € 40,- per I.E. (tarief 2002, Waterschap Veluwe) dus de kosten bedragen $241 \times € 40,- = € 9.655,-$.

De lozingskosten per ton verwerkte drijfmest bedragen:

$$€ 9.655 / 3000 = € 3,12 / \text{ton verwerkte drijfmest.}$$

De lozingskosten per ton geloosd effluent bedragen:

$$€ 9.655 / (3000 \times 0,8) = € 4,02 / \text{ton verwerkte drijfmest.}$$

Overige publicaties

In de serie " Mestverwerking varkenshouderij" zijn tot nu toe verschenen:

- Praktijkboek nr. 4 Mestverwerking varkenshouderij
Manura® 2000, Hollvoet te Reusel
- Praktijkboek nr. 5 Mestverwerking varkenshouderij
Manura® 2000, Houbensteyn te Ysselsteyn
- Praktijkboek nr. 6 Mestverwerking varkenshouderij
Systeem Biovink, Evink te Oosterwolde (Gld)
- Praktijkboek nr. 7 Mestverwerking varkenshouderij
Mestscheiding en microfiltratie, Dirven te Someren
- Praktijkboek nr. 8 Mestverwerking varkenshouderij
Strofilter in foliekas, De Swart te Alphen (NB)
- Praktijkboek nr. 9 Mestverwerking varkenshouderij
Composteren in roterende trommel,
Bouwman te Ysselsteyn
- Praktijkboek nr. 10 Mestverwerking varkenshouderij
Mest op Maat, Mestac te Nuenen
- Praktijkboek nr. 11 Mestverwerking varkenshouderij
Mobiele Mestontwatering, Mestec te Papendrecht
- Praktijkboek nr. 12 Mestverwerking varkenshouderij
OrgAgro, Bouwman te Bakel
- Praktijkboek nr. 13 Mestverwerking varkenshouderij
Agramaat, Den Hertog te Rotterdam

Deze rapporten zijn te bestellen bij de uitgever.

